

526,214

10/526214

Rec'd PCT/PTO 04 MAR 2005

(12) NACH DEM VERtrag UBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VEROFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
25. März 2004 (25.03.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/025796 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: H01S 5/183, 5/04

GMBH [DE/DE]; Wernerwerkstrasse 2, 93049 Regensburg (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/002728

(72) Erfinder; und

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. August 2003 (13.08.2003)

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KARNUTSCH, Christian [DE/DE]; Löffelsgraben 9, 97999 Igensheim (DE). LINDER, Norbert [DE/DE]; Keilbergstrasse 31, 93173 Wenzenbach (DE). LUFT, Johann [DE/DE]; Ahornstrasse 1, 93195 Wolfsegg (DE). LUTGEN, Stephan [DE/DE]; Weissbräuhausegasse 2a, 93047 Regensburg (DE). SCHMID, Wolfgang [DE/DE]; Flurweg 6, 93180 Deuerling / Hillohe (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(74) Anwalt: EPPING HERMANN FISCHER PATENTANWALTSGESELLSCHAFT MBH; P.O. Box 200734, 80007 Munich (DE).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (national): CN, JP, US.

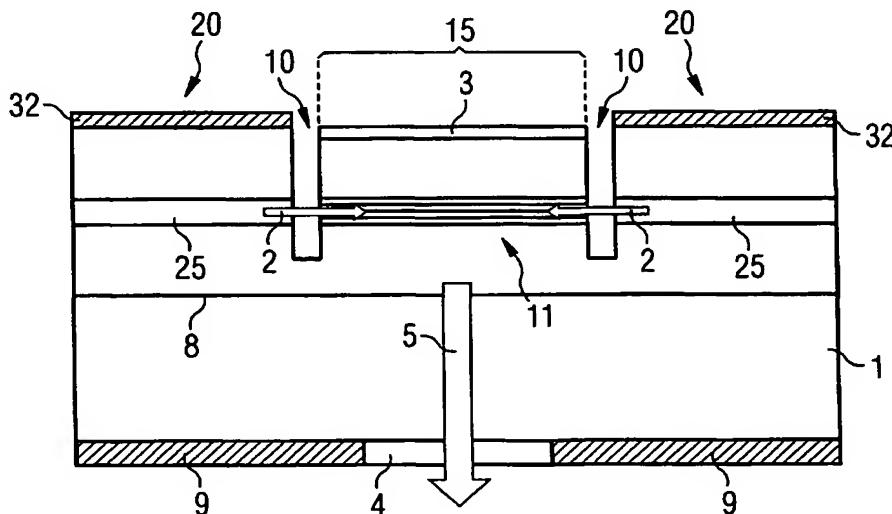
(30) Angaben zur Priorität:
102 41 192.1 5. September 2002 (05.09.2002) DE

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS

(54) Title: SEMICONDUCTOR OPTICAL PUMPING DEVICE FOR RADIATION EMISSION AND THE PRODUCTION METHOD THEREOF

(54) Bezeichnung: OPTISCH GEPUMPTE STRAHLUNGSEMITTIERENDE HALBLEITERVORRICHTUNG UND VERFAHREN ZU DEREN HERSTELLUNG



(57) Abstract: The invention relates to a semiconductor optical pumping device for radiation emission comprising a semiconductor body which is provided with at least one pumping radiation source (20) and a quantum pit surface emitting structure (11). Said pumping radiation source (20) and quantum pit structure (11) are monolithically integrated. The pumping radiation source (20) produces pumping radiation (2) which is used for the optical pumping of the quantum pit structure (11). A cavity for injecting the pumping radiation (2) into a quantum pit structure (9) is formed in the semiconductor body between the pumping radiation source (20) and the quantum pit structure (11). The method for producing the inventive device is also disclosed.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2004/025796 A2



(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("*Guidance Notes on Codes and Abbreviations*") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung beschreibt eine optisch gepumpte strahlungsemittierende Halbleitervorrichtung mit einem Halbleiterkörper, der mindestens eine Pumpstrahlungsquelle (20) und eine oberflächenemittierende Quantentopfstruktur (11) aufweist, wobei die Pumpstrahlungsquelle (20) und die Quantentopfstruktur (11) monolithisch integriert sind. Die Pumpstrahlungsquelle (20) erzeugt Pumpstrahlung (2) zum optischen Pumpen der Quantentopfstruktur (11), wobei in dem Halbleiterkörper zwischen der Pumpstrahlungsquelle (20) und der Quantentopfstruktur (11) eine Ausnehmung (10) zur Einkopplung der Pumpstrahlung (2) in der Quantentopfstruktur (9) gebildet ist. Weiterhin beschreibt die Erfindung ein Herstellungsverfahren für eine derartige Halbleitervorrichtung.

Beschreibung

Optisch gepumpte strahlungsemittierende Halbleitervorrichtung und Verfahren zu deren Herstellung

5

Die Erfahrung bezieht sich auf eine optisch gepumpte strahlungsemittierende Halbleitervorrichtung nach dem Oberbegriff des Patenanspruchs 1 sowie ein Verfahren zu deren Herstellung nach dem Oberbegriff der Patentansprüchs 19 oder 25.

10

Eine optische gepumpte strahlungsemittierende Halbleitervorrichtung ist beispielsweise aus der Druckschrift DE 100 26 734.3 bekannt, deren Inhalt durch Referenz in die vorliegende Beschreibung aufgenommen wird. Hierin ist eine optisch

15

gepumpte oberflächenemittierende Halbleiterlaservorrichtung mit einer strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur und einer Pumpstrahlungsquelle, beispielsweise einem Pumplaser, zum optischen Pumpen der Quantentopfstruktur beschrieben. Die Quantentopfstruktur und die Pumpstrahlungsquelle sind auf

20

einem gemeinsamen Substrat epitaktisch aufgewachsen.

Bei einem Herstellungsverfahren einer solchen Halbleiterlaservorrichtung wird zunächst in einem ersten Epitaxieschritt auf einem Substrat die Quantentopfstruktur aufgewachsen.

25

Nachfolgend wird die Quantentopfstruktur teilweise entfernt, beispielsweise abgeätzt, und in einem zweiten Epitaxieschritt auf die so freigelegten Bereiche die Pumpstrahlungsquelle aufgewachsen.

30

Im Grenzbereich zwischen der Pumpstrahlungsquelle und der Quantentopfstruktur kann dabei im zweiten Epitaxieschritt ein sogenannter Anwachsbereich entstehen, dessen Kristallstruktur vergleichsweise viele Kristalldefekte aufweist. In diesem Anwachsbereich können daher bei der Einkopplung der Pumpstrahlung in die Quantentopfstruktur optische Verluste auftreten, die die Effizienz der Halbleiterlaservorrichtung verringern.

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine optisch gepumpte strahlungsemittierende Halbleitervorrichtung mit einer Quantentopfstruktur und einer Pumpstrahlungsquelle, die monolithisch integriert sind, mit einer verbesserten Effizienz zu

5 schaffen. Insbesondere sollen die Verluste bei der Einkopplung der Pumpstrahlung in die Quantentopfstruktur verringert werden. Weiterhin ist es Aufgabe der Erfindung, ein Herstellungsverfahren hierfür anzugeben.

10 Diese Aufgabe wird durch eine Halbleitervorrichtung gemäß Patentanspruch 1 bzw. ein Herstellungsverfahren gemäß Patentanspruch 19 oder 25 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

15 Erfindungsgemäß ist vorgesehen, eine optische gepumpte strahlungsemittierende Halbleitervorrichtung mit einem Halbleiterkörper, der mindestens eine Pumpstrahlungsquelle und eine oberflächenemittierende Quantentopfstruktur aufweist, zu bilden, wobei die Pumpstrahlungsquelle und die Quantentopfstruktur monolithisch integriert sind, und die Pumpstrahlungsquelle Pumpstrahlung zum optischen Pumpen der Quantentopfstruktur erzeugt. In dem Halbleiterkörper ist zwischen der Pumpstrahlungsquelle und der Quantentopfstruktur eine Ausnehmung zur Einkopplung der Pumpstrahlung in die Quantentopfstruktur geformt. Die Ausnehmung ist insbesondere so angeordnet, daß bei ihrer Ausbildung der Anwachsbereich zwischen der Quantentopfstruktur und der Pumpstrahlungsquelle entfernt wird. Es hat sich gezeigt, daß die Einkopplungsverluste für die Pumpstrahlung mittels einer solchen definiert ausgebildeten Ausnehmung gegenüber einer Einkopplung durch den oben beschriebenen Anwachsbereich hindurch vorteilhaft verringert werden.

Die Erfindung eignet sich insbesondere für

35 Halbleitervorrichtungen, bei der die Pumpstrahlungsquelle und die oberflächenemittierende Quantentopfstruktur aus unterschiedlichen Halbleiterschichtenfolgen gebildet sind.

Bevorzugt sind diese Halbleiterschichtenfolgen epitaktisch und nacheinander auf einem gemeinsamen Substrat ausgebildet. Dies hat den Vorteil, daß Halbleiterschichtenfolgen für die Pumpstrahlungsquelle und die oberflächenemittierende

5 Quantentopfstruktur unabhängig voneinander an die jeweiligen Anforderungen, beispielsweise unterschiedliche Emissionswellenlängen, angepaßt werden können.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung ist die
10 Ausnehmung in Form eines Grabens ausgebildet, wobei der Graben senkrecht oder schräg zu einer Ausbreitungsrichtung der Pumpstrahlung, vorzugsweise zur Hauptabstrahlungsrichtung der Pumpstrahlungsquelle, verläuft. Eine grabenförmige Ausnehmung ist vergleichsweise platzsparend und kann bei der Herstellung
15 mit geringem technischem Aufwand, beispielsweise als Ätzgraben, ausgeformt werden.

Bevorzugt weist die Ausnehmung eine erste Seitenfläche und eine gegenüberliegende, vorzugsweise parallele zweite Seitenfläche auf, wobei die von der Pumpstrahlungsquelle erzeugte Pumpstrahlung zunächst durch die erste Seitenfläche in die Ausnehmung und nachfolgend durch die gegenüberliegende zweite Seitenfläche in die Quantentopfstruktur eingekoppelt wird. Durch die Entfernung des Anwachsbereichs bei der Ausformung
20 der Ausnehmung mit definierten Seitenflächen werden die Verluste bei der Einkopplung der Pumpstrahlung in die Quantentopfstruktur vorteilhaft reduziert.

Um Reflexionen an den Seitenflächen der Ausnehmung zu vermeiden, ist es weiterhin vorteilhaft, die Ausnehmung mit einem Dielektrikum oder einem Halbleitermaterial zu füllen. Damit wird der Berechungsindexsprung an den Seitenflächen verringert, in der Folge die Reflexion der Pumpstrahlung an den Seitenflächen reduziert, und so die Einkopplung der
30 Pumpstrahlung in die Quantentopfstruktur weiter erhöht. Vorzugsweise ist das Material für die Füllung der Ausnehmung so gewählt, daß sein Berechungsindex möglichst ähnlich oder so-

gar gleich dem Brechungsindex des angrenzenden Halbleitermaterials, insbesondere im pumpstrahlungsführenden Bereich der Pumpstrahlungsquelle, ist.

5 Allerdings kann es auch zweckmäßig sein, eine definierte Reflexion an den Seitenflächen der Ausnehmung, vorzugsweise an der der Pumpstrahlungsquelle zugewandten Seitenfläche vorzusehen. Bei einer solchen Ausgestaltung der Erfindung kann die
10 Pumpstrahlungsquelle als Laser ausgeführt sein, wobei die reflektierende Seitenfläche zugleich als Resonatorspiegel dient.

Zur Reduzierung von Reflexionsverlusten an den Seitenflächen sind bei einer bevorzugten Weiterbildung der Erfindung die
15 Seitenflächen so angeordnet, daß sie mit einer Hauptabstrahlungsrichtung der Pumpstrahlungsquelle einen Winkel einschließen, der gleich dem Brewster-Winkel ist. Der Brewster-Winkel α_B ist gegeben durch die Beziehung

20
$$\tan \alpha_B = n_A / n_p$$

wobei n_A den Brechungsindex des in der Ausnehmung befindlichen Materials - gegebenenfalls auch Luft oder eine anderes geeignetes Gas - und n_p den Brechungsindex des angrenzenden
25 Halbleitermaterials der Pumpstrahlungsquelle, in dem die Pumpstrahlung propagiert, bezeichnet. Durch die Anordnung der Seitenflächen im Brewster-Winkel zur Hauptabstrahlungsrichtung der Pumpstrahlungsquelle werden für diejenigen
30 Pumpstrahlungsanteile, die parallel zur Einfallsebene (bezüglich der Seitenfläche der Ausnehmung) polarisiert sind, die Reflexionsverluste minimiert.

Vorzugsweise ist bei der Erfindung die Pumpstrahlungsquelle als Laser, insbesondere als kantenemittierender Laser oder
35 als Ringlaser ausgebildet. Damit wird eine starke Bündelung der Pumpstrahlung mit genau definierter Propagationsrichtung und eine schmale spektrale Verteilung erreicht. Die

Pumpstrahlung kann so optimal zum optischen Pumpen der Quantentopfstruktur ausgelegt und exakt in die Quantentopfstruktur eingestrahlt werden. Weiterhin kann die Quantentopfstruktur auch innerhalb eines Resonators des Pumplasers angeordnet
5 sein.

Die Pumpstrahlung wird bei der Erfindung vorzugsweise in lateraler Richtung in die Quantentopfstruktur eingekoppelt, die Strahlungsemision der Quantentopfstruktur erfolgt im Wesentlichen vertikal, also senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Pumpstrahlung. Weitergehend kann die Halbleitervorrichtung als vertikal emittierender Laser, beispielsweise als VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) oder als Scheibenlaser ausgeführt sein.
15

Bei einem erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren für eine optisch gepumpte strahlungsemittierende Halbleitervorrichtung wird zunächst ein Substrat zum Aufwachsen des Halbleiterkörpers bereitgestellt und darauf eine Mehrzahl von Halbleiterschichten, die unter anderem die Quantentopfstruktur bilden, epitaktisch aufgewachsen. Nachfolgend werden diese Halbleiterschichten teilweise entfernt und auf den so freigelegten Bereichen die Pumpstrahlungsquelle aufgewachsen, so daß die Pumpstrahlungsquelle an die Quantentopfstruktur lateral an-
20 grenzt. Dabei wachsen die Halbleiterschichten der Pumpstrahlungsquelle mit den Halbleiterschichten der Quantentopfstruktur lateral zusammen, so daß zwischen der Pumpstrahlungsquelle und der Quantentopfstruktur ein Anwachsbereich mit vergleichsweise stark gestörter Kristallstruktur entsteht.
25

Zwischen Pumpstrahlungsquelle und Quantentopfstruktur wird dann eine Ausnehmung zur Einkopplung der Pumpstrahlung in die Quantentopfstruktur gebildet. Dabei wird der Anwachsbereich, der aufgrund einer vergleichsweise hohen Kristalldefektdichte bei der Einkopplung der Pumpstrahlung zu optischen Verlusten beitragen kann, zumindest teilweise entfernt und so die Einkopplungseffizienz verbessert.
30
35

Bevorzugt wird die Ausnehmung in den Halbleiterkörper geätzt. Hierfür eignen sich sowohl naßchemische Verfahren als auch trockenchemische Verfahren, wie beispielsweise RIBE Verfahren oder CAIBE. Wie bereits beschrieben ist die Ausbildung der Ausnehmung als Ätzgraben vorteilhaft.

Bei einer anderen Ausführungsform des Verfahrens wird zunächst eine Schichtenfolge für die Pumpstrahlungsquelle auf das Substrat aufgewachsen, in der dann ein Fenster ausgebildet wird. In dem Fenster wird nachfolgend die Mehrzahl von Halbleiterschichten, die unter anderem die Quantentopfstruktur bilden, epitaktisch aufgewachsen.

Zwischen der Schichtenfolge der Pumpstrahlungsquelle und der Quantentopfstruktur entsteht dabei ein Anwachsbereich mit vergleichsweise stark gestörter Kristallstruktur. Die weiteren Schritte zur zumindest teilweisen Beseitigung des Anwachsbereichs erfolgen analog zu denen der oben beschriebenen ersten Ausführungsform des Verfahrens.

Bevorzugt wird bei den Herstellungsverfahren die Ausnehmung mit einem Halbleitermaterial oder einem Dielektrikum gefüllt, um den Brechungsindexsprung zwischen Ausnehmung und angrenzendem Halbleitermaterial und die damit einhergehenden Reflexionsverluste zu reduzieren. Beispielsweise kann die Ausnehmung mit Silikon gefüllt werden.

Ein Vorteil der oben dargelegten Zweischritt-Epitaxie besteht insbesondere darin, dass es damit möglich ist, die oberflächenemittierende Quantentopfstruktur nicht dotiert und elektrisch leitfähig herzustellen. Dotierung würde in der Regel zu höheren Absorptionsverlusten in der oberflächenemittierenden Quantentopfstruktur führen.

35

Weitere Merkmale, Vorzüge und Zweckmäßigkeiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausfüh-

rungsbeispielen der Erfindung in Verbindung mit den Figuren 1 bis 6.

Es zeigen:

5

Figur 1a und 1b eine schematische Schnittdarstellung und eine Aufsicht auf ein erstes Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung,

10

Figur 2 eine schematische Aufsicht auf ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung

15

Figur 3 eine schematische Schnittdarstellung eines dritten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung

20

Figur 4a bis 4f eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens anhand von sechs Zwischenschritten,

25

Figur 5 ein erstes Ausführungsbeispiel einer Laseranordnung mit einer erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung und

30

Figur 6 eine schematische Darstellung eines zweiten Ausführungsbeispiel einer Laseranordnung mit einer erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung.

Gleiche oder gleichwirkende Elemente sind in den Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.

35

In Figur 1a ist eine optisch gepumpte strahlungsemittierende Halbleitervorrichtung im Schnitt dargestellt, Figur 1b zeigt die zugehörige Aufsicht. Die zur Figur 1a gehörige Schnittebene verläuft längs der Linie A-A in Figur 1 b. Die Halblei-

tervorrichtung weist einen auf einem Substrat 1 angeordneten Halbleiterkörper auf, der einen oberflächenemittierenden Bereich 15 und zwei Pumpstrahlungsquellen 20 umfaßt. In dem oberflächenemittierenden Bereich 15 ist eine oberflächenemittierende Quantentopfstruktur 11 ausgebildet, die im Betrieb von den Pumpstrahlungsquellen 20 optisch gepumpt wird und Strahlung 5 erzeugt, die senkrecht zur Oberfläche 4 des Substrats 1 bzw. der Grenzfläche 8 zwischen dem Halbleiterkörper und dem Substrat 1 emittiert wird.

10

Die Pumpstrahlungsquellen 20 sind als kantenemittierende Halbleiterlaser ausgeführt, die in herkömmlicher Weise elektrisch gepumpt werden. Zur elektrischen Versorgung ist auf der Oberseite des Halbleiterkörpers eine p-Kontaktschicht 32 und gegenüberliegend auf dem Substrat eine n-Kontaktschicht 9 aufgebracht. Die kantenemittierenden Halbleiterlaser weisen jeweils eine aktive strahlungsemittierende Schicht 25 auf, die im Betrieb Pumpstrahlung 2 lateral in Richtung des oberflächenemittierenden Bereichs 15 bzw. der Quantentopfstruktur 11 emittiert.

Die Quantentopfstruktur 11 innerhalb des oberflächenemittierenden Bereichs 15 ist in gleicher Höhe über dem Substrat wie die aktiven Schichten 25 der kantenemittierenden Halbleiterlaser angeordnet. Damit wird erreicht, daß die von den Halbleiterlasern erzeugte Pumpstrahlung 2 möglichst vollständig in die Quantentopfstruktur 11 eingekoppelt wird und so die Quantentopfstruktur mit hoher Effizienz optisch gepumpt wird.

30 Zur Steigerung der Pumpeffizienz ist bei der Erfindung jeweils zwischen den Pumpstrahlungsquellen 20 und dem oberflächenemittierenden Bereich 15 mit der Quantentopfstruktur 11 eine Ausnehmung 10 in Form eines Grabens gebildet.

35 Herkömmlicherweise wird bei der Herstellung der gezeigten Halbleitervorrichtung, die im Folgenden noch genauer beschrieben wird, eine Mehrzahl von Halbleiterschichten zur

Ausbildung der Quantentopfstruktur 11 und der Pumpstrahlungsquellen 20 auf das Substrat 1 aufgebracht. Dabei kann ein so genannter Anwachsbereich entstehen, in dem die Halbleiter 5 schichten der Pumpstrahlungsquellen 20 mit den Halbleiter schichten der Quantentopfstruktur 11 lateral zusammenwachsen. Da die Kristallstruktur im Anwachsbereich vergleichsweise stark gestört ist, kann in diesem Bereich vermehrt eine Streuung oder Absorption der Pumpstrahlung 2 auftreten. Die gestreute oder absorbierte Pumpstrahlung 2 steht somit zum 10 optischen Pumpen der Quantentopfstruktur 11 nicht zur Verfü gung, so daß in der Folge die Pumpeffizienz sinkt.

Bei der Erfindung ist wird durch zumindest teilweise Entfernung des Halbleitermaterial in Anwachsbereichs eine Ausnehmung 10, beispielsweise in der genannten Grabenform, gebildet. Vorteilhafterweise wird dadurch Streuung oder Absorption der Pumpstrahlung in dem Anwachsbereich verringert und in der Folge die Pumpeffizienz erhöht.

20 In Figur 2 ist ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung in der Aufsicht dargestellt. Die Halbleitervorrichtung entspricht der in Figur 1b gezeigten Aufsicht mit dem Unterschied, daß die grabenförmigen Ausnehmungen 10 schräg zu einer Ausbreitungsrichtung der 25 Pumpstrahlung 2 verlaufen.

Bei diesem Ausführungsbeispiel ist es besonders vorteilhaft, die Ausnehmung 10 so zu bilden, daß deren Seitenflächen 26 und 27, also die Grenzflächen zwischen Pumpstrahlungsquelle 30 20 bzw. oberflächenemittierendem Bereich 15 und Ausnehmung 10, zueinander parallel sind und mit einer Hauptabstrahlungsrichtung der Pumpstrahlungsquelle 20 einen Winkel einschlie ßen, der gleich dem Brewster-Winkel α_B ist. Für den Übergang zwischen dem Halbleiterkörper und der Ausnehmung ist der 35 Brewster-Winkel α_B gegeben durch die Beziehung

$$\tan \alpha_B = n_A / n_p$$

wobei n_p den Brechungsindex des Halbleitermaterials der Pumpstrahlungsquelle 20, insbesondere der pumpstrahlungsführenden Schicht, und n_A den Brechungsindex des in der Ausnehmung 10 befindlichen Materials bezeichnet. Gegebenenfalls kann die Ausnehmung auch mit einem Gas, beispielsweise Luft, gefüllt oder evakuiert sein, wobei dann der Brechungsindex n_A näherungsweise 1,0 beträgt.

10 Die Anordnung der Seitenflächen 26, 27 der Ausnehmung im Brewster-Winkel zur Hauptabstrahlungsrichtung der Pumpstrahlungsquelle hat den Vorteil, daß Reflexionen der Pumpstrahlung an den Seitenflächen der Ausnehmung reduziert und so die Pumpeffizienz erhöht wird.

15 Vorzugsweise ist bei diesem Ausführungsbeispiel die Pumpstrahlungsquelle als kantenemittierender Halbleiterlaser ausgeführt, wobei die äußeren Seitenflächen 16 des Halbleiterkörpers die Resonatorspiegel bilden, und der oberflächenemittierende Bereich im Inneren des so gebildeten Laserresonators angeordnet ist.

20 In Figur 3 ist ein drittes Ausführungsbeispiel der Erfindung im Schnitt dargestellt. Die Struktur entspricht dem in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiel.

25 Die dargestellte Halbleitervorrichtung weist ein Substrat 1 auf, auf dem eine Buffer-Schicht 6 aufgebracht ist. Als Material für das Substrat kann beispielsweise GaAs, für die Bufferschicht undotiertes GaAs verwendet werden.

30 Auf der Bufferschicht 6 sind nacheinander in dem oberflächenemittierenden Bereich 15 eine erste Confinement-Schicht 12, eine Quantentopfstruktur 11 und eine zweite Confinement-Schicht 13 angeordnet. Die Confinement-Schichten 12, 13 können zum Beispiel undotiertes GaAs enthalten. Die Quantentopfstruktur 11 umfaßt bevorzugt drei oder mehr Quantentöpfe

mit einer Dicke entsprechend einer ersten Emissionswellenlänge für die von der Quantentopfstruktur zu erzeugenden Strahlung 5, die durch Barriereschichten voneinander beabstandet sind. Die Quantentopfstruktur ist beispielsweise aus

5 InGaAs mit einer Dicke entsprechend einer Emissionswellenlänge von 1030 nm für die von der Quantentopfstruktur zu erzeugenden Strahlung 5 und die Barriereschichten sind beispielsweise aus GaAs.

10 Der zweiten Confinement-Schicht 13 nachgeordnet ist ein Bragg-Spiegel 3. Dieser kann zum Beispiel durch jeweils 28 bis 30 abwechselnde Schichten (Perioden) aus $\text{Ga}_{0.1}\text{Al}_{0.9}\text{As}$ bzw. $\text{Ga}_{0.9}\text{Al}_{0.1}\text{As}$ gebildet sein.

15 Neben dem oberflächenemittierenden Bereich 15 sind zwei Pumpstrahlungsquellen 20, jeweils in Form einer kantenemittierenden Halbleiterstruktur 21, angeordnet. Die von den kantenemittierenden Halbleiterstrukturen 21 erzeugte Pumpstrahlung 2 wird in lateraler Richtung in die Quantentopfstruktur

20 11 eingekoppelt.

Bevorzugt sind die kantenemittierenden Halbleiterstrukturen 21 als LOC-Laserstrukturen (Large Optical Cavity) mit jeweils einer Einfachquantentopfstruktur (SQW - Single Quantum Well) ausgebildet. Für die Pumpstrahlung 2 ist eine Emissionswellenlänge geeignet, die kleiner ist als die erste Emissionswellenlänge für die von der Quantentopfstruktur zu erzeugenden Strahlung 5. Bei den bisher genannten Daten ist für die Pumpstrahlung eine Emissionwellenlänge von etwa 1000 nm geeignet.

Die kantenemittierenden Halbleiterstrukturen 21 setzen sich vom Substrat 1 aus gesehen jeweils zusammen aus einer ersten Mantelschicht 28, beispielsweise aus n- $\text{Ga}_{0.35}\text{Al}_{0.65}\text{As}$, die auf die Buffer-Schicht 6 aufgebracht ist, einer ersten Wellenleiterschicht 23, beispielsweise aus n- $\text{Ga}_{0.90}\text{Al}_{0.10}\text{As}$, einer aktiven Schicht, beispielsweise aus undotiertem InGaAs in Form

einer SQW- $\text{Ga}_{0.35}\text{Al}_{0.65}\text{As}$ -Schicht, einer zweiten Wellenleiter-
schicht 24, beispielsweise aus p- $\text{Ga}_{0.90}\text{Al}_{0.10}\text{As}$, und einer
zweiten Mantelschicht 29, beispielsweise aus p- $\text{Ga}_{0.35}\text{Al}_{0.65}\text{As}$.
Abschließend ist auf der zweiten Mantelschicht 29 eine Deck-
schicht 30, zum Beispiel eine p⁺-dotierte GaAs-Schicht und
darauf die p-Kontaktschicht 32 ausgebildet.

Die LOC-Struktur 22 wird von den beiden Wellenleiterschichten
23, 24 und der dazwischenliegenden aktiven Schicht 25 gebil-
det. Der Abstand dieser LOC-Struktur zum Substrat ist so be-
messen, daß die strahlungsführende Schicht 25 in gleicher
Höhe wie die Quantentopfstruktur 11 über dem Substrat ange-
ordnet ist und so die erzeugte Pumpstrahlung 2 in lateraler
Richtung möglichst vollständig in die Quantentopfstruktur
eingestrahlt wird.

Zwischen den Pumpstrahlungsquellen 20 und dem oberflächen-
emittierenden Bereich 15 ist der Anwachsbereich entfernt worden,
so daß jeweils eine Ausnehmung 10
zwischen den Pumpstrahlungsquellen 20 und dem oberflächen-
emittierenden Bereich 15 gebildet ist. Bevorzugt ist die Ausneh-
mung mit einem für die Pumpstrahlung durchlässigen Material
gefüllt. Besonders bevorzugt wird zur Füllung ein Silikon
oder ein Halbleitermaterial verwendet. Weitergehend ist es
vorteilhaft, wenn dieses Material einen Brechungsindex auf-
weist, der etwa dem Brechungsindex der angrenzenden
Pumpstrahlungsquelle und/oder der Quantentopfstruktur oder
dem geometrischen Mittel dieser beiden Berechnungsindices ent-
spricht.

Maßgeblich für die Brechungsindexanpassung sind bei den
Pumpstrahlungsquellen 20 die Brechungsindices der strahlungs-
führenden Schichten. Eine derartige Brechungsindexanpassung
reduziert vorteilhafterweise Reflexionsverluste an den Sei-
tenflächen der Ausnehmung 10.

Vorzugsweise sind die genannten Halbleiterschichten epitaktisch, zum Beispiel mittels metallorganischer Dampfphasenepitaxie (MOVPE), auf dem Substrat 1 aufgewachsen.

- 5 In der Nähe der jeweiligen äußeren Seitenflächen 16 der Pumpstrahlungsquellen sind senkrecht zu den Schichten der kantenemittierenden Halbleiterstrukturen verlaufende Spiegel- schichten 31 ausgebildet, die als Endspiegel für die kantenemittierenden LOC-Laserstrukturen 22 dienen. Diese Spiegel-
10 schichten erstrecken sich ausgehend von der Deckschicht 30 bis mindestens in die erste Mantelschicht 28, vorzugsweise wie dargestellt in die Buffer-Schicht 6. Derartige Spiegel- schichten 31 können nach dem Aufwachsen der Halbleiterschichten für die kantenemittierende Halbleiterstruktur dadurch
15 hergestellt werden, daß zunächst mittels eines Ätzverfahrens, beispielsweise reaktives Ionenätzen, Ätzgräben ausgebildet werden, die nachfolgend mit einem geeigneten reflektierenden Material gefüllt werden.
- 20 Alternativ können als Endspiegel auch die äußeren Seitenflächen 16 der Pumpstrahlungsquellen 20, die in diesem Fall vorzugsweise durch Spalten des entsprechenden Wafers ausgebildet werden, dienen.
- 25 Die kantenemittierenden Laserstrukturen können auch in einem gemeinsamen, von den beiden Spiegelschichten 31 bzw. Seiten- flächen 16 begrenzten Resonator angeordnet sein, so daß sich auch die Quantentopfstruktur innerhalb dieses Resonators be- findet. Alternativ können die von der Quantentopfstruktur 11
30 aus gesehen außenliegenden Seitenflächen 16 der Ausnehmung 10 zusammen mit der zugehörigen Spiegelfläche 31 bzw. Seitenflä- che 27 jeweils einen Resonator für die kantenemittierenden Halbleiterlaser bilden, so daß die Quantentopfstruktur 11 zwischen diesen beiden Resonatoren angeordnet ist. Eine wei-
35 tere Alternative besteht darin, die Pumpstrahlungsquelle als Ringlaser auszubilden und die Quantentopfstruktur innerhalb des Ringresonators anzuordnen.

Auf der freien Oberfläche der Deckschicht 30 und des Bragg-Spiegels 3 ist eine elektrisch isolierende Maskenschicht 7, beispielsweise eine Siliziumnitrid-, eine Siliziumoxid- oder 5 eine Aluminiumoxidschicht, angeordnet, die die Strominjektionspfade von der p-Kontaktschicht 32, beispielsweise eine Kontaktmetallisierung, in die Pumpstrahlungsquellen 20 festlegt. Insbesondere wird dadurch erreicht, daß der Pumpstrom nur in die Pumpstrahlungsquellen 20 injiziert und so ein unerwünschtes elektrisches Pumpen der Quantentopfstruktur 11 10 vermieden wird.

Auf der der Quantentopfstruktur 11 bzw. den Pumpstrahlungsquellen 20 gegenüberliegenden Oberfläche 4 des Substrats 1 15 ist korrespondierend zur p-Kontaktschicht 32 eine n-Kontaktschicht 9, beispielsweise eine Kontaktmetallisierung, aufgebracht, die in dem oberflächenemitterenden Bereich 15 ausgespart ist. Diese Aussparung bildet ein Austrittsfenster 14 für die von der Quantentopfstruktur 11 erzeugte Strahlung 5. 20 Vorzugsweise ist die Oberfläche 4 des Substrats innerhalb des Austrittsfensters 14 entspiegelt, um Rückreflexionen der von der Quantentopfstruktur 11 emittierten Strahlung 5 zu verringern.

25 In den Figuren 4a bis 4f ist in sechs Zwischenschritten schematisch ein Herstellungsverfahren für eine erfahrungsgemäße Halbleitervorrichtung gezeigt. Die herzustellende Halbleitervorrichtung entspricht im Wesentlichen Figur 3.

30 In einem ersten Schritt, Figur 4a, werden, beispielsweise mittels eines MOVPE-Verfahrens, auf das Substrat 1 nacheinander die Buffer-Schicht 6, die erste Confinement-Schicht 12, die Quantentopfstruktur 11, die zweite Confinement-Schicht 13 und die Schichten für den Bragg-Spiegel 3 aufgewachsen.

35

Nachfolgend wird in einem zweiten Schritt, Figur 4b, in dem als oberflächenemittieren Bereich 15 vorgesehenen Bereich

eine Ätzmaske 17, zum Beispiel eine Siliziumnitridmaske, aufgebracht. Mittels eines Ätzverfahrens werden dann die Schichten für den Bragg-Spiegel 3, die Confinement-Schichten 12 und 13, die Quantentopfstruktur 11 und ein Teil der Buffer-Schicht 6 außerhalb des oberflächenemittierenden, nicht von der Ätzmaske 17 bedeckten Bereichs abgetragen. Hierfür ist beispielsweise ein Trockenätzverfahren geeignet.

Auf die so freigelegten Bereiche der Buffer-Schicht 6 werden 10 in einem dritten Schritt, Figur 4c, zur Ausbildung der Pumpstrahlungsquellen 20 in Form der beschriebenen kantenemittierenden Halbleiterlaser die erste Mantelschicht 28, die erste Wellenleiterschicht 23, die aktive Schicht 25, die zweite Wellenleiterschicht 24, die zweite Mantelschicht 29 15 und die Deckschicht 30 nacheinander, beispielsweise wiederum mittels eines MOVPE-Verfahrens, aufgebracht.

Dabei wachsen diese Schichten sowohl in vertikaler als auch in geringerem Grad in lateraler Richtung auf. Dies führt 20 dazu, daß die Halbleiterschichten der Pumpstrahlungsquellen 20 mit den bereits im ersten Schritt aufgebrachten Schichten am Rand des oberflächenemittierenden Bereichs 15 zusammenwachsen. Zwischen dem oberflächenemittierenden Bereich 15 und den Pumpstrahlungsquellen 20 entsteht so jeweils der Anwachsbereich 19, der wie bereits beschrieben eine vergleichsweise stark gestörte Kristallstruktur aufweist und die Einkoppelefizienz der Pumpstrahlung beeinträchtigen kann.

Im Unterschied zu dem in Figur 3 dargestellten Ausführungsbeispiel werden die Endspiegel der kantenemittierenden Halbleiterlaser 21 durch die äußeren Seitenflächen 16 des Halbleiterkörpers gebildet. Es sei an dieser Stelle angemerkt, daß der Übersichtlichkeit halber in Figur 4 nur die Herstellung einer einzigen Halbleitervorrichtung dargestellt 35 ist. In der Regel wird in eine Mehrzahl derartiger Halbleitervorrichtungen gleichzeitig im Waferverbund hergestellt, die nach Schritt 4c noch lateral verbunden sind bzw. keine

Seitenflächen 16 aufweisen. Die Seitenflächen 16 werden vielmehr bei der Zerteilung des Waferverbunds in einem späteren Schritt des Herstellungsverfahrens durch Spalten hergestellt.

5 Im einem vierten Schritt, Figur 4d, wird auf die Deckschicht 30 eine Ätzmaske 18, beispielsweise eine photolithographisch hergestellte Lackmaske, aufgebracht, die die Deckschicht 30 über den Pumpstrahlungsquellen 20 und dem oberflächenemittierenden Bereich 15 bedeckt und so die darunterliegenden Halbleiterschichten schützt. Über den Anwachsbereichen 19 ist die
10 Ätzmaske 18 ausgespart.

Mittels eines Ätzverfahrens werden in einem nachfolgenden
fünften Schritt, Figur 4e, die Anwachsbereiche 19 entfernt.
15 Dabei wird jeweils zwischen einer Pumpstrahlungsquelle 20 und dem oberflächenemittierenden Bereich 15, insbesondere der Quantentopfstruktur 11 eine Ausnehmung 10 in Form eines Ätzgrabens gebildet. Als Ätzverfahren eignet sich bei diesem Schritt ein naßchemisches Verfahren oder ein trockenchemisches Verfahren wie beispielsweise RIBE oder CAIBE.
20

Nachfolgend kann der Ätzgraben mit einem für die Pumpstrahlung durchlässigen Material, beispielsweise einem Silikon, gefüllt werden. Dazu wird das Silikon aufgeschleudert, photo-
25 lithographisch strukturiert und dann ausgehärtet.

Abschließend wird in einem sechsten Schritt, Figur 4f, die Ätzmaske 18 entfernt und auf die Deckschicht 30 und den Bragg-Spiegel 3 die elektrisch isolierende Maskenschicht 7
30 und darauf die p-Kontaktschicht 32 sowie auf der abgewandten Seite des Substrats 1 die Kontaktschicht 9 aufgebracht.

Bei einem zu dem in Verbindung mit den Figuren 4a bis 4f beschriebenen alternativen Verfahrensablauf wird zunächst eine
35 Schichtenfolge für den kantenemittierenden Halbleiterlaser 21, der die Pumpstrahlungsquelle darstellt, auf das Substrat aufgewachsen, in der dann ein Fenster beispielsweise mittels

Maskieren und Ätzen ausgebildet wird. In dem Fenster wird nachfolgend die Mehrzahl von Halbleiterschichten für den oberflächenemittierenden Bereich 15 epitaktisch aufgewachsen, die unter anderem die Quantentopfstruktur enthalten.

5

Zwischen der Schichtenfolge für den kantenemittierenden Halbleiterlaser, also der Pumpstrahlungsquelle und den Halbleiterschichten für den oberflächenemittierenden Bereich 15 entsteht ein Anwachsbereich mit vergleichsweise stark gestörter Kristallstruktur.

10

Die weiteren Schritte erfolgen bei diesem Verfahrensablauf analog zu den in Verbindung mit den Figuren 4d bis 4f erläuterten Schritte.

15

Figur 5 zeigt schematisch ein Ausführungsbeispiel einer Laseranordnung mit einer erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung.

20

Die Halbleitervorrichtung entspricht beispielsweise einem der in Figur 1 bis 3 gezeigten Ausführungsbeispiele. Dem Substrat 1 der Halbleitervorrichtung gegenüberliegend ist ein externer Spiegel 35 angeordnet, der zusammen mit dem Bragg-Spiegel 3 der Halbleitervorrichtung den Laserresonator der Laseranordnung darstellt. Der Bragg-Spiegel 3 bildet dabei den Endspiegel, der externe Spiegel 35 den Auskoppelspiegel des Resonators.

25

Der Auskoppelspiegel 35 ist vorzugsweise als teildurchlässiger, dielektrischer Spiegel ausgeführt. Auch die Verwendung eines teildurchlässigen Metallspiegels ist möglich.

30

Den laseraktiven Bereich der Laseranordnung stellt die optisch gepumpte Quantentopfstruktur 11 der Halbleitervorrichtung dar, in der die Laserstrahlung mittels des optischen Pumpprozesses generiert und verstärkt wird. Bevorzugt ist bei der Laseranordnung ein nichtlineares optisches Element 34,

insbesondere ein nichtlinearer optischer Kristall, innerhalb des Laserresonators angeordnet.

Das nichtlineare optische Element 34 dient zur Frequenzkonversion der Laserstrahlung. Hierbei wird durch einen nichtlinearen optischen Prozeß, wie beispielsweise Summenfrequenzerzeugung, Erzeugung der zweiten, dritten oder einer höheren harmonischen oder Differenzfrequenzerzeugung aus der Laserstrahlung elektromagnetischer Strahlung 36 einer anderen Wellenlänge erzeugt. Insbesondere kann so durch Erzeugung von Summenfrequenz oder einer Harmonischen aus der Laserstrahlung, die bei den genannten Halbleiterlasern bzw. Quantentopfstrukturen in der Regel im roten oder infraroten Bereich liegt, kurzwelligeres sichtbares Licht erzeugt werden. Je nach Wellenlänge der Laserstrahlung und der zu erzeugenden Strahlung sind als nichtlineare Medien beispielsweise KTP, KDP, BBO, KNB, LiNbO PPLN oder LBO geeignet.

Bevorzugt ist bei dieser Ausführungsform der Auskoppelspiegel 35 als dichroitischer Spiegel gebildet, der für die von dem nichtlinearen optischen Element 34 generierte Strahlung weitgehend durchlässig und für die Laserstrahlung weitgehend reflektierend ist. Hierfür sind insbesondere dielektrische Auskoppelspiegel geeignet, mit denen typischerweise für die Laserstrahlung ein Reflexionsgrad von mehr als 90 % und zur Auskopplung der mittels des nichtlinearen optischen Elements 34 erzeugten Strahlung ein Reflexionsgrad von unter 10% erreicht werden kann.

In Figur 6 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Lasieranordnung mit einer erfindungsgemäßen Halbleitervorrichtung gezeigt. Im Unterschied zu dem in Figur 5 gezeigten Ausführungsbeispiel ist der Laserresonator als gefalteter Resonator ausgeführt. Dazu ist in den Strahlengang ein weiterer Spiegel 33 eingefügt, so daß die Resonatorachse abgewinkelt ist. Der weitere Spiegel 33 und der Auskoppelspiegel 35 sind konkav gewölbt, so daß zwischen diesen Spiegeln ein Fokalbe-

reich entsteht, in dem das nichtlineare optische Element 34 angeordnet ist. Durch diese Fokussierung wird die Intensität der von der Quantentopfstruktur 11 generieren Laserstrahlung im Bereich des nichtlinearen optischen Elements 34 und in der 5 Folge die nichtlineare Konversion erhöht.

Die Erläuterung der Erfindung anhand der Ausführungsbeispiele und Figuren ist nicht als Beschränkung der Erfindung zu verstehen. Insbesondere ist es nicht zwingend erforderlich, 10 genau zwei Pumpstrahlungsquellen bei der Erfindung vorzusehen. Die Halbleitervorrichtung kann auch eine einzige Pumpstrahlungsquelle oder mehr als zwei, beispielsweise sternförmig um die Quantentopfstruktur angeordnete Pumpstrahlungsquellen aufweisen.
15 Allgemein umfaßt die Erfindung auch jede Kombination der im Rahmen der Ausführungsbeispiele und der sonstigen Beschreibung genannten Merkmale, auch wenn diese Kombination nicht Gegenstand eines Patentanspruchs ist.

Patentansprüche

1. Optisch gepumpte strahlungsemittierende Halbleitervorrichtung mit einem Halbleiterkörper, der mindestens eine Pumpstrahlungsquelle (20) und eine oberflächenemittierende Quantentopfstruktur (11) aufweist, wobei die Pumpstrahlungsquelle (20) und die Quantentopfstruktur (11) monolithisch integriert ausgebildet sind, und die Pumpstrahlungsquelle (20) Pumpstrahlung (2) zum optischen Pumpen der Quantentopfstruktur (11) erzeugt,
dadurch gekennzeichnet, daß
in dem Halbleiterkörper zwischen der Pumpstrahlungsquelle (20) und der Quantentopfstruktur (11) eine Ausnehmung (10) zur Einkopplung der Pumpstrahlung (2) in die Quantentopfstruktur (11) gebildet ist.
2. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Ausnehmung (10) grabenförmig gebildet ist und schräg oder senkrecht zu einer Ausbreitungsrichtung der Pumpstrahlung (2) verläuft.
3. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Ausnehmung (10) eine erste der Pumpstrahlungsquelle (20) zugewandte Seitenfläche (26) und eine gegenüberliegende, der Quantentopfstruktur (11) zugewandte zweite Seitenfläche (27) aufweist, wobei die Pumpstrahlung (2) durch die erste Seitenfläche (26) in die Ausnehmung (10) und nachfolgend durch die zweite Seitenfläche (27) in die Quantentopfstruktur (11) eintritt.
4. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, daß
die zweite Seitenfläche (27) parallel zur ersten Seitenfläche (26) ist.

5. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 3 oder 4,
dadurch gekennzeichnet, daß
die erste und/oder die zweite Seitenfläche (26,27) mit einer
Ausbreitungsrichtung der Pumpstrahlung (2), insbesondere mit
5 einer Hauptabstrahlungsrichtung der Pumpstrahlungsquelle
(20), einen Winkel einschließt, der gleich dem Brewster-Win-
kel ist.

10. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Ausnehmung (10) mit einem Dielektrikum oder einem Halb-
leitermaterial gefüllt ist.

15. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Ausnehmung (10) mit einem Material gefüllt ist, das einen
Brechungsindex aufweist, der im Wesentlichen gleich dem Bre-
chungsindex der Pumpstrahlungsquelle (2), dem Brechungsindex
der Quantentopfstruktur (11) oder dem geometrischen Mittel
20 der beiden letztgenannten Brechungsindices ist.

25. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Halbleitervorrichtung einen Vertikalemitter mit einem
strahlungserzeugenden Bereich umfaßt, der von der Quanten-
topfstruktur (11) gebildet wird.

30. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet, daß
der Vertikalemitter ein vertikal emittierender Laser, insbe-
sondere eine VCSEL oder ein Scheibenlaser, ist.

35. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Pumpstrahlungsquelle (20) ein Pumplaser ist.

11. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, daß
der Pumplaser ein kantenemittierender Laser ist.

5 12. Halbleitervorrichtung nach Anspruch 10 oder 11,
dadurch gekennzeichnet, daß
der Pumplaser ein Ringlaser ist.

10 13. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 12,
dadurch gekennzeichnet, daß
der Pumplaser einen Resonator aufweist, und die Quantentopf-
struktur (11) innerhalb des Resonators angeordnet ist.

15 14. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Pumpstrahlung (2) in lateraler Richtung in die Quanten-
topfstruktur (11) eingekoppelt wird.

20 15. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Pumpstrahlungsquelle (20) und die oberflächenemittierende
Quantentopfstruktur (11) aus unterschiedlichen
Halbleiterschichtenfolgen gebildet sind.

25 16. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 15,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Pumpstrahlungsquelle (20) und die oberflächenemittierende
Quantentopfstruktur (11) epitaktisch und nacheinander
gebildet sind.

30 17. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Ausnehmung (10) in einem Anwachsbereich zwischen der
Pumpstrahlungsquelle (20) und der oberflächenemittierenden
35 Quantentopfstruktur (11) angeordnet ist.

18. Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß die Pumpstrahlungsquelle (20) mindestens eine Wellenleiterschicht (23,24) aufweist.

- 5 19. Verfahren zur Herstellung einer optisch gepumpten Halbleitervorrichtung mit einem Halbleiterkörper, der eine oberflächenemittierende Quantentopfstruktur (11) und mindestens eine Pumpstrahlungsquelle (20), die Pumpstrahlung (2) zum optischen Pumpen der Quantentopfstruktur (11) erzeugt, aufweist, wobei die Pumpstrahlungsquelle (2) und die Quantentopfstruktur (11) monolithisch integriert sind, mit den Schritten:
 - a) Bereitstellen eines Substrates (1),
 - b) epitaktisches Aufwachsen einer Mehrzahl von Halbleiterschichten auf das Substrat (1), die die Quantentopfstruktur (11) enthalten,
 - c) teilweises Abtragen der Halbleiterschichten und
 - d) epitaktisches Aufwachsen der Pumpstrahlungsquelle (20) in dem durch das Abtragen in Schritt c) freigelegten Bereich, so daß die Pumpstrahlungsquelle (20) an die Quantentopfstruktur (11) grenzt,
- 10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß zwischen der Pumpstrahlungsquelle (20) und der Quantentopfstruktur (11) eine Ausnehmung (10) zur Einkopplung der Pumpstrahlung (2) in die Quantentopfstruktur (11) gebildet wird.
- 15 20. Verfahren nach Anspruch 19,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß in Schritt d) Halbleiterschichten zur Bildung der Pumpstrahlungsquelle (20) aufgewachsen werden, die in lateraler Richtung in einem Anwachsbereich (19) zumindest teilweise mit der Quantentopfstruktur (11) zusammenwachsen, und die Ausnehmung (10) durch zumindest teilweises Entfernen des Anwachsbereichs 20 (19) ausgebildet wird.
- 25 21. Verfahren nach Anspruch 19 oder 20,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
die Ausnehmung (10) durch Ätzen, insbesondere naßchemisches
oder trockenchemisches Ätzen, gebildet wird.

- 5 22. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 21,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
die Ausnehmung (10) grabenförmig, insbesondere als Ätzgraben,
ausgebildet wird.
- 10 23. Verfahren nach einem der Ansprüche 19 bis 22,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
die Ausnehmung (10) mit einem für die Pumpstrahlung durchläs-
sigen Material gefüllt wird.
- 15 24. Verfahren nach Anspruch 23,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
die Ausnehmung (10) mit Silikon oder einem Halbleitermaterial
gefüllt wird.
- 20 25. Verfahren zur Herstellung einer optisch gepumpten Halb-
leitervorrichtung mit einem Halbleiterkörper, der eine ober-
flächenemittierende Quantentopfstruktur (11) und mindestens
eine Pumpstrahlungsquelle (20), die Pumpstrahlung (2) zum op-
tischen Pumpen der Quantentopfstruktur (11) erzeugt, auf-
weist, wobei die Pumpstrahlungsquelle (2) und die Quanten-
topfstruktur (11) monolithisch integriert sind,
mit den Schritten:
 - a) Bereitstellen eines Substrates (1),
 - b) epitaktisches Aufwachsen einer Mehrzahl von Halbleiter-
- 30 30 schichten auf das Substrat (1), die die Pumpstrahlungsquelle
(20) enthalten, Quantentopfstruktur (11) bilden,
- c) Ausbilden eines Fensters in der Mehrzahl von Halbleiter-
schichten für die Quantentopfstruktur (11) und
- d) epitaktisches Aufwachsen der Quantentopfstruktur (11) in
- 35 dem Fenster, so daß die Pumpstrahlungsquelle (20) an die
Quantentopfstruktur (11) grenzt,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß

zwischen der Pumpstrahlungsquelle (20) und der Quantentopfstruktur (11) eine Ausnehmung (10) zur Einkopplung der Pumpstrahlung (2) in die Quantentopfstruktur (11) gebildet wird.

5

26. Verfahren nach Anspruch 25,
dadurch gekennzeichnet, daß
in Schritt d) Halbleiterschichten zur Bildung der Quantentopfstruktur (11) aufgewachsen werden, die in lateraler Rich-
tung in einem Anwachsbereich zumindest teilweise mit der
Schichtenfolge der Pumpstrahlungsquelle (20) zusammenwachsen,
und die Ausnehmung (10) durch zumindest teilweises Entfernen
des Anwachsbereichs (19) ausgebildet wird.

15 27. Verfahren nach Anspruch 25 oder 26,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Ausnehmung (10) durch Ätzen, insbesondere naßchemisches
oder trockenchemisches Ätzen, gebildet wird.

20 28. Verfahren nach einem der Ansprüche 25 bis 27,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Ausnehmung (10) grabenförmig, insbesondere als Ätzgraben,
ausgebildet wird.

25 29. Verfahren nach einem der Ansprüche 25 bis 28,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Ausnehmung (10) mit einem für die Pumpstrahlung durchlässigen Material gefüllt wird.

30 30. Verfahren nach Anspruch 29,
dadurch gekennzeichnet, daß
die Ausnehmung (10) mit Silikon oder einem Halbleitermaterial
gefüllt wird.

FIG 1A

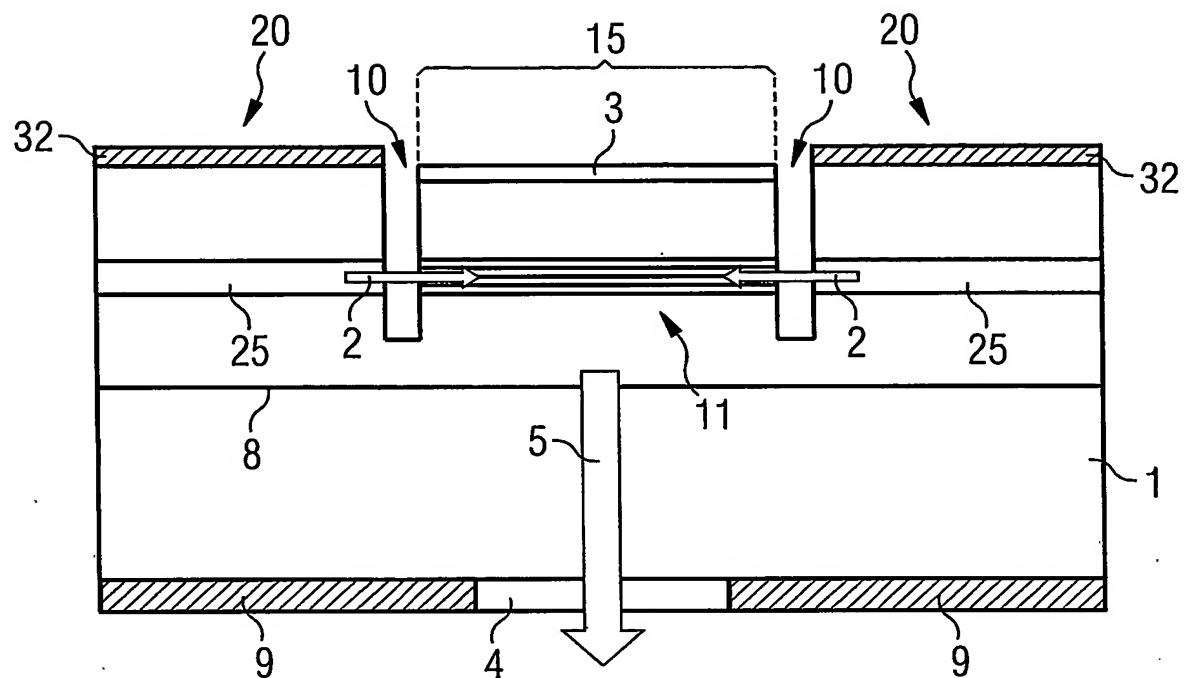


FIG 1B

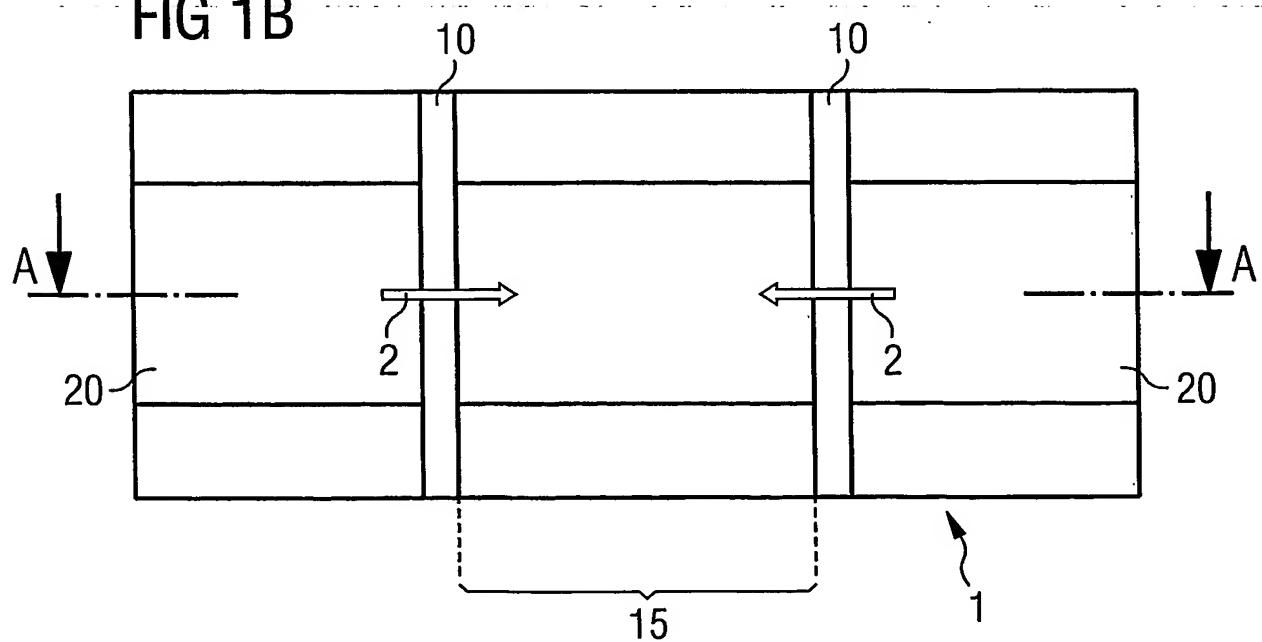
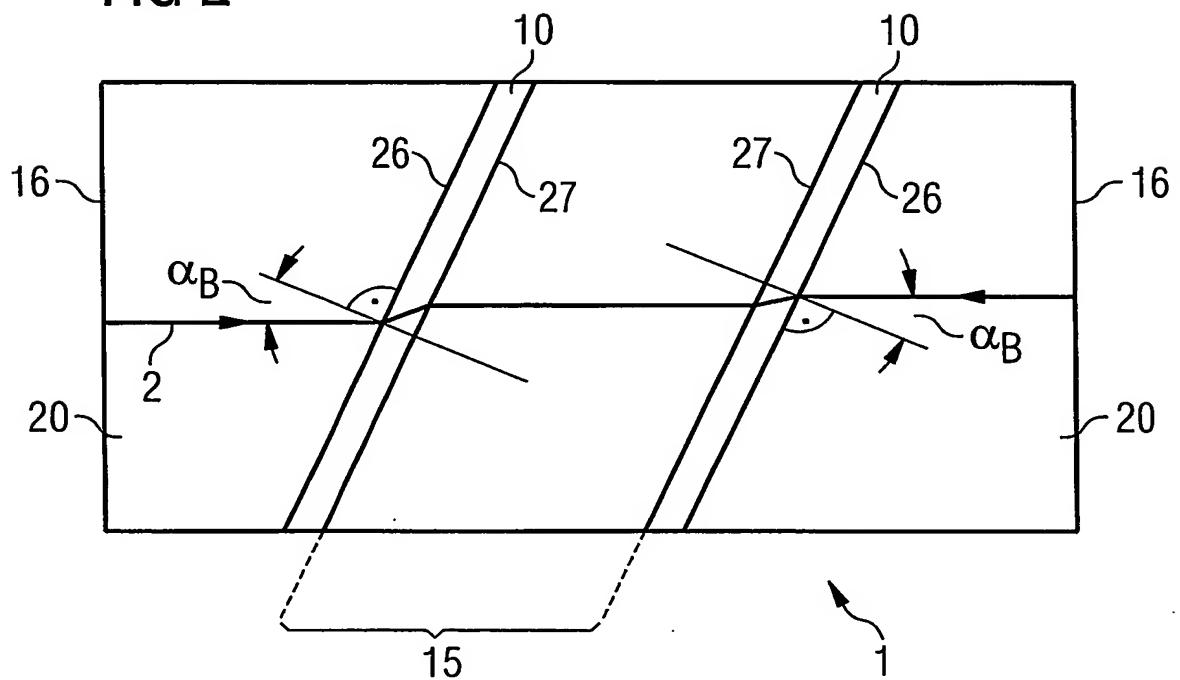


FIG 2



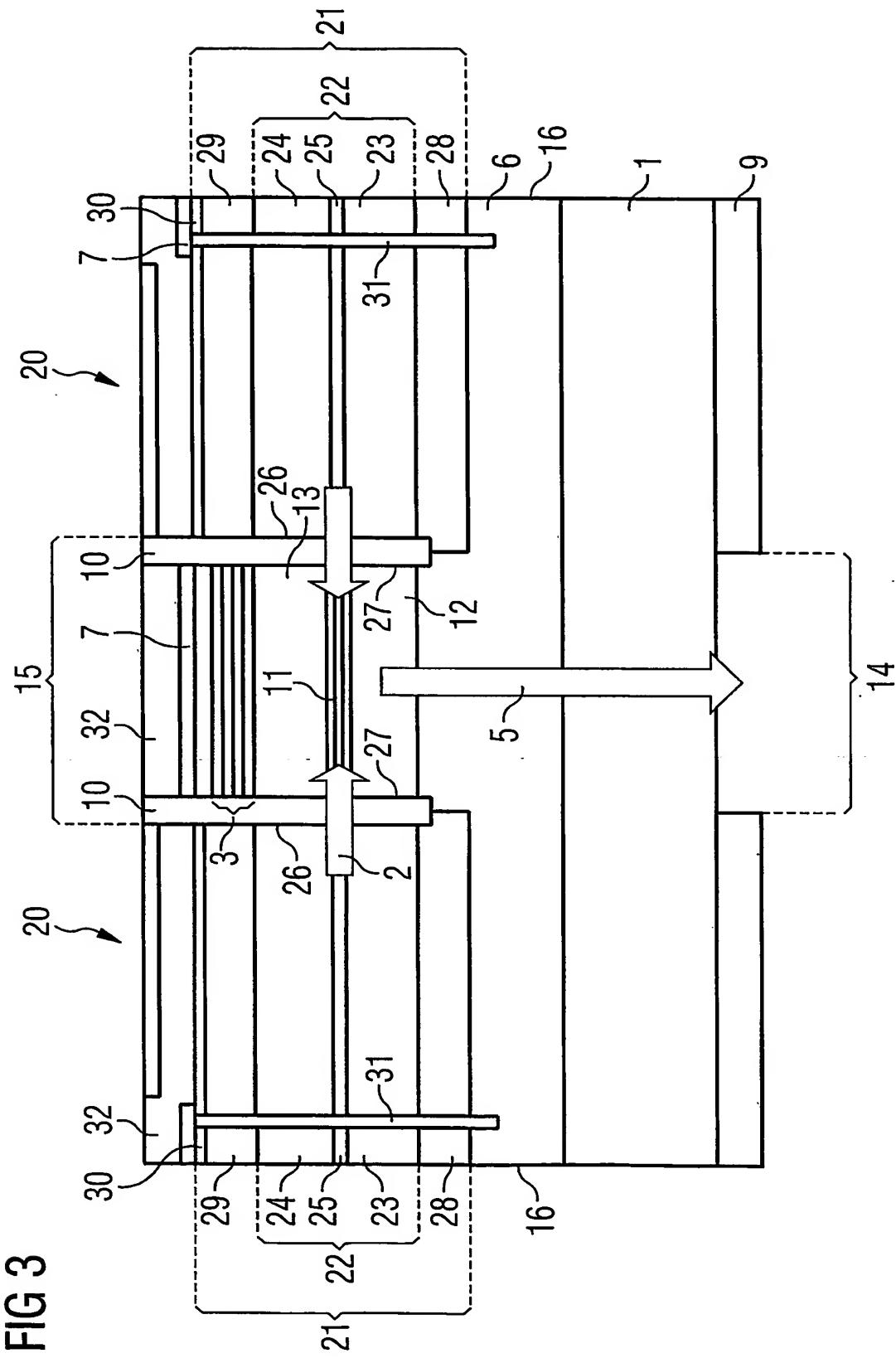


FIG 3

FIG 4A

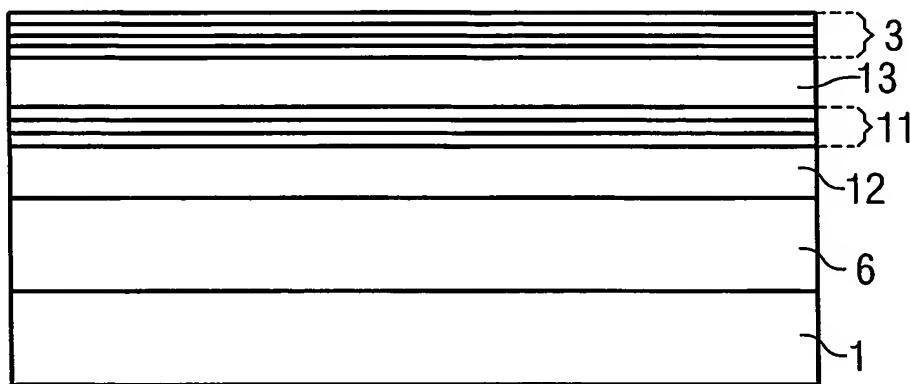


FIG 4B

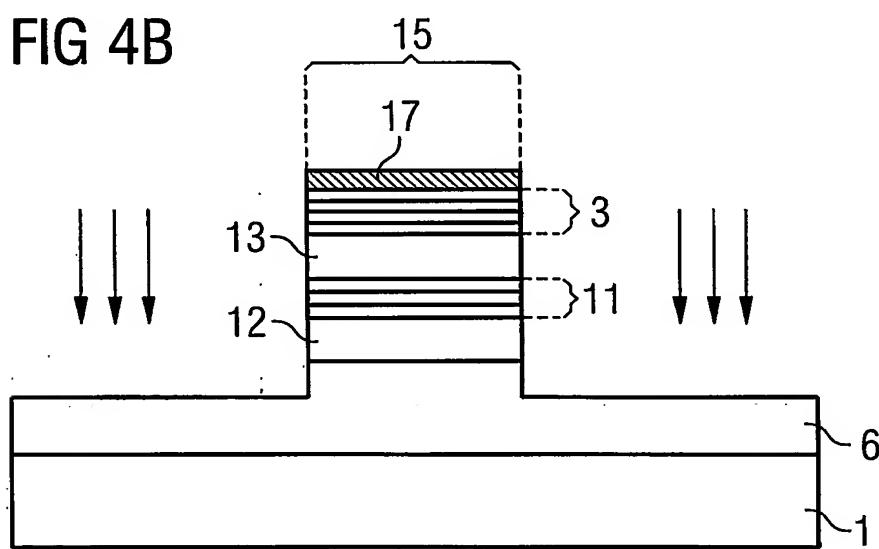
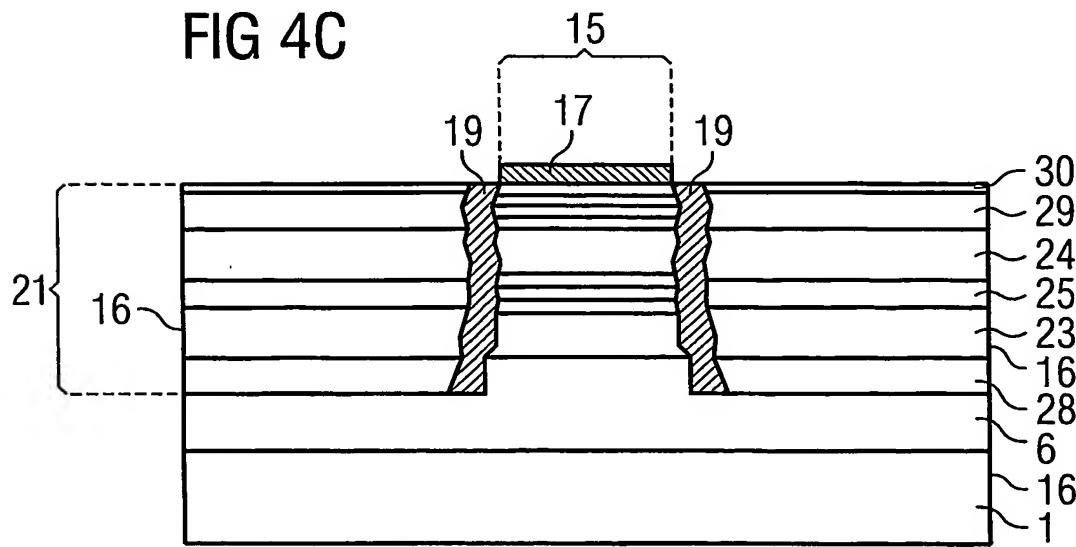


FIG 4C



5/6

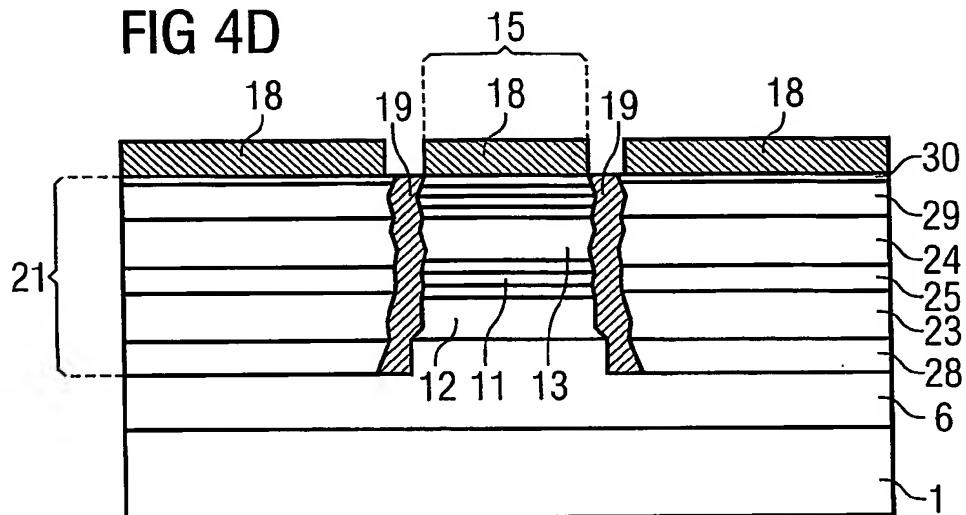
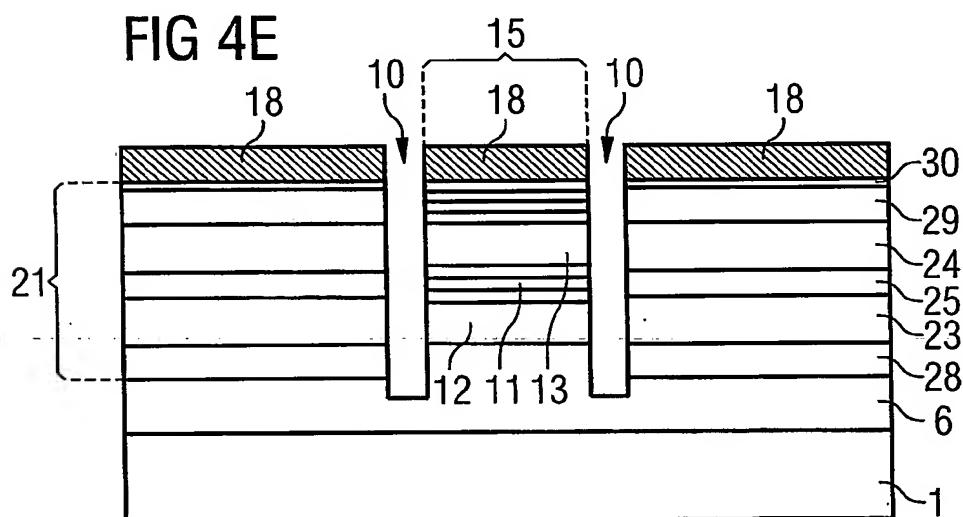
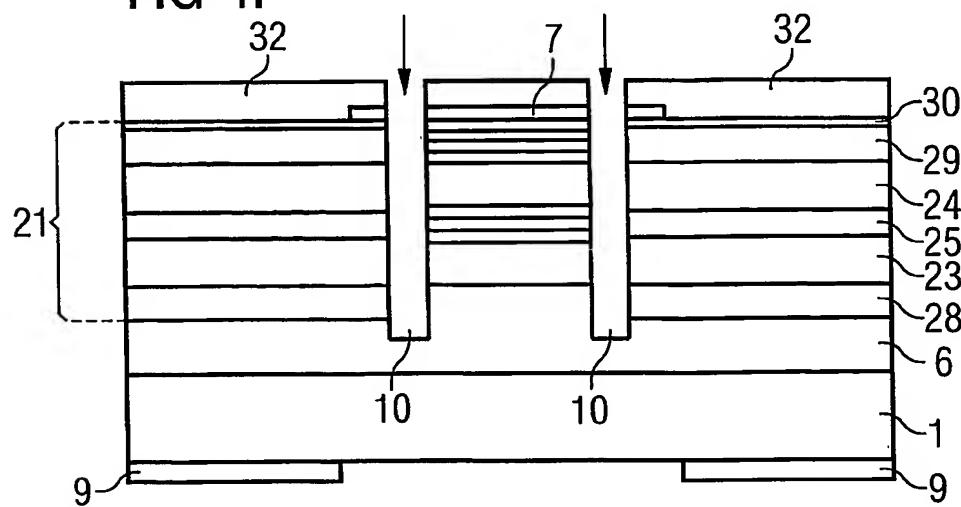
FIG 4D**FIG 4E****FIG 4F**

FIG 5

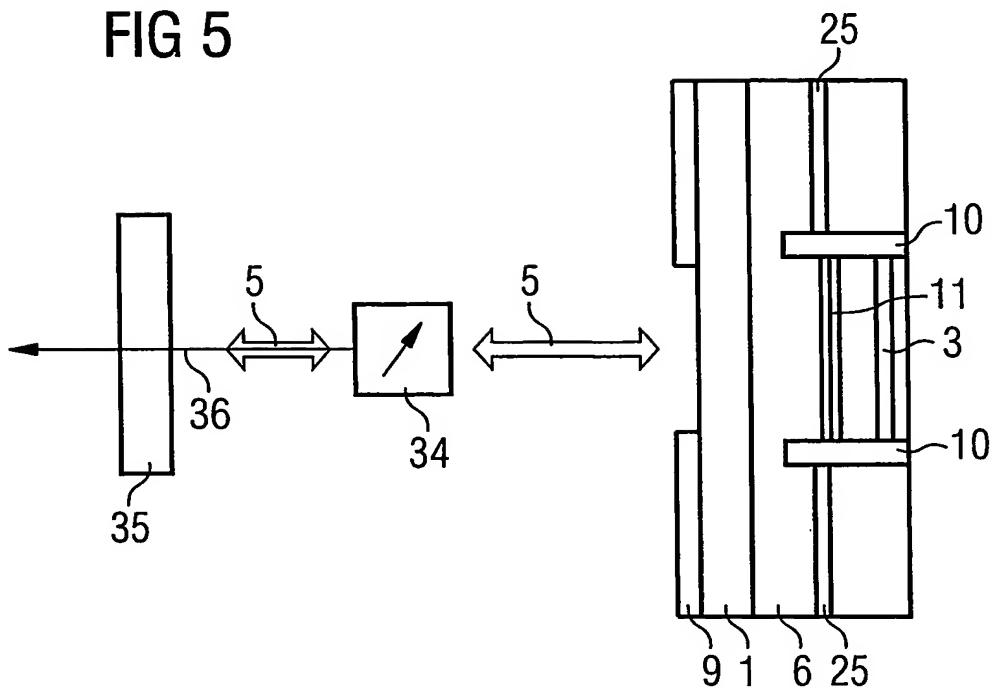


FIG 6

